

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-268028

(P2002-268028A)

(43) 公開日 平成14年9月18日 (2002.9.18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード <sup>8</sup> (参考)
G 0 2 F 1/09	5 0 5	G 0 2 F 1/09	5 0 5 2 H 0 4 9
G 0 2 B 5/30		G 0 2 B 5/30	2 H 0 7 9
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2001-67196(P2001-67196)

(22) 出願日 平成13年3月9日 (2001.3.9)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 池田 和浩

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 松浦 寛

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

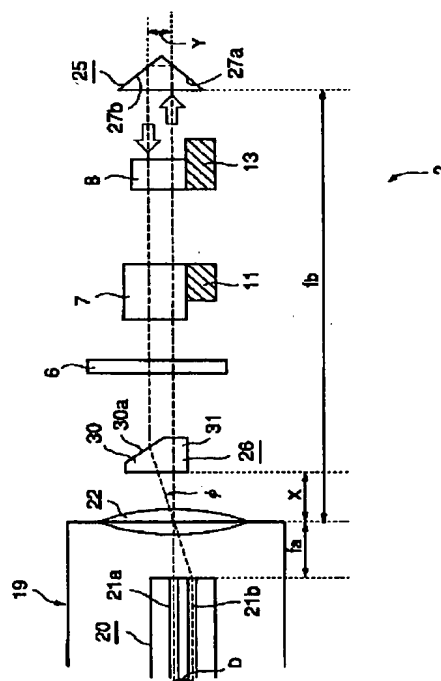
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変光学フィルタユニットおよび可変利得等化システム

(57) 【要約】

【課題】 安価で、小型な可変光学フィルタユニット及びそれを用いた可変利得等化システムを提供する。

【解決手段】 コリメータ19のレンズ22と、全反射手段であるリトロフレクタ25との間に、プリズム26と偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8を順に配列配置する。コリメータ19の入力側光ファイバとして機能するコア・クラッド部21aはその光軸がレンズ22の光軸と一致している。コリメータ19から出射された光はリトロフレクタ25に達すると、該リトロフレクタ25によってその行き側の光は間隔Yだけずれて全反射し、この戻り側の光はプリズム26によって屈折して上記コリメータ19の出力側光ファイバとして機能するコア・クラッド部21bに入射する。間隔faとfbを等しくしなくて済むので、汎用のコリメータを採用することができて安価化、低コスト化が図れる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 正弦波状の光減衰量波長特性を持つ可変光学フィルタユニットであって、並設されている入力側光ファイバおよび出力側光ファイバと、これら入力側と出力側の光ファイバの先端側と間隔を介して配置される入力側と出力側に共通のレンズとが一体化されているコリメータを有し、このコリメータのレンズよりも光の出射側には、偏光子と；信号光を全反射して光の伝搬方向を折り返す全反射手段と；が順に配列配置されており、これら偏光子と全反射手段の間には、印加磁界に応じて入射光の偏光面を回転させるファラデー回転子と；結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間に波長に依存して位相差を与える複屈折結晶と；この複屈折結晶の結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間の位相差を波長に依存しないで変更する位相差可変手段と；が設けられており、上記全反射手段により全反射された戻り側の光を上記コリメータの出力側光ファイバに入射伝搬させるための伝搬光路変更手段が設けられていることを特徴とした可変光学フィルタユニット。

【請求項2】 全反射手段は、互いに直交している第1の全反射面と第2の全反射面を有したリトロフレクタにより構成されており、このリトロフレクタの上記第1の全反射面は入射光の伝搬方向に対しておよそ45°の傾きをもって配設されて入射光を上記第2の全反射面に向けて全反射し、第2の全反射面は上記第1の全反射面からの光を偏光子側に向けて全反射する構成と成し、このリトロフレクタによって、偏光子側からリトロフレクタに向かう方向の行き側の光の伝搬経路と、リトロフレクタから偏光子側に向かう方向の戻り側の光の伝搬経路とを間隔を介して平行にする構成としたことを特徴とした請求項1記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項3】 コリメータは入力側光ファイバの光軸とレンズの光軸が同軸上に位置する構成と成し、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を屈折させてコリメータのレンズを介し出力側光ファイバに入射させるプリズムにより構成されていることを特徴とした請求項2記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項4】 伝搬光路変更手段であるプリズムには、コリメータの入力側光ファイバからレンズを介して出射された行き側の光を伝搬方向を変えずに透過する平行平板部が設けられていることを特徴とした請求項3記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項5】 コリメータは、入力側光ファイバと出力側光ファイバがレンズの光軸を中心にして対称に配置されている構成と成し、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を屈折させてコリメータのレンズを介し出力側光ファイバに入射させるプリズムにより構成されており、このプリズムには、上記入力側光ファイバからレンズを介して

出射された行き側の光を屈折して当該行き側の光の伝搬方向を上記コリメータのレンズの光軸に平行な方向に変更させる行き光屈折部が設けられていることを特徴とした請求項2記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項6】 入力側光ファイバと出力側光ファイバを共に備えたコリメータに代えて、入力側光ファイバと、該光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されて成る入力側コリメータと；出力側光ファイバと、該光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されて成る出力側コリメータと；が設けられていることを特徴とした請求項1又は請求項2記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項7】 入力側コリメータと出力側コリメータは並設されており、伝搬光路変更手段は第1の全反射手段と第2の全反射手段を有し、上記第1の全反射手段は戻り側の光を上記第2の全反射手段に向けて全反射し、第2の全反射手段は上記第1の全反射手段からの戻り側の光を出力側コリメータの出力側光ファイバに向けて全反射する構成と成していることを特徴とした請求項6記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項8】 入力側コリメータと出力側コリメータはそれらの光軸を交差させる形態でもって配設されており、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を出力側コリメータに向けて全反射させる全反射手段により構成されていることを特徴とした請求項6記載の可変光学フィルタユニット。

【請求項9】 正弦波状の光減衰量波長特性を持つ可変光学フィルタユニットであって、光ファイバの先端部と、この光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されているコリメータを有し、このコリメータのレンズよりも光の出射側には、偏光子と；信号光を全反射して光の伝搬方向を折り返す全反射手段と；が順に配列配置されており、これら偏光子と全反射手段の間には、印加磁界に応じて入射光の偏光面を回転させるファラデー回転子と；結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間に波長に依存して位相差を与える複屈折結晶と；この複屈折結晶の結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間の位相差を波長に依存しないで変更する位相差可変手段と；が設けられており、上記全反射手段により全反射され上記コリメータに向かう戻り側の光の伝搬経路は、上記コリメータから上記全反射手段に向かう行き側の光の伝搬経路に一致する構成と成し、上記コリメータに接続されている光ファイバには光サーキュレータが介設されていることを特徴とした可変光学フィルタユニット。

【請求項10】 入力信号光の波長特性変動を補償する可変利得等化システムであって、正弦波状の光減衰量波長特性を持つ複数の可変光学フィルタユニットが光の伝

搬方向に配列配置されており、それら複数の可変光学フィルタユニットの正弦波状の光減衰量波長特性の足し合わせにより、入力信号光の波長特性を補償するためのパターン形状を持つ補償用の光減衰量波長特性が作り出される構成を有し、入力信号光の光減衰量波長特性の変動に応じて上記各可変光学フィルタユニットの正弦波状の光減衰量波長特性の位相と振幅のうちの少なくとも一方を可変する構成を備えた可変利得等化システムであって、上記各可変光学フィルタユニットは、請求項1乃至請求項9の何れか1つに記載の可変光学フィルタユニットであることを特徴とした可変利得等化システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、入射信号光の波長特性を可変する可変光学フィルタユニットと、入力信号光の波長特性変動を補償する可変利得等化システムとに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信の分野において、波長分割多重(WDM)長距離光伝送の研究開発が行われている。そのWDM長距離光伝送システムにおいては、光の減衰量を補償するために、光の伝送経路上に光増幅器(例えば、EDFA(エルビウムドープ光ファイバアンプ))が複数介設されている。

【0003】しかし、上記光増幅器は使用波長帯域での利得が波長により異なるために、光増幅器を通過した後の信号光には波長により光量の違いが発生してしまう。上記WDM長距離光伝送システムにおいては、上記のように、信号光は複数の光増幅器を通過するために、上記信号光の光量の波長間格差が累積して増大し、これにより、各チャンネルを担う波長での信号光の光量に大きな格差が生じてしまうこととなる。このことから、信号光の光量に対するノイズの大きさの比(S/N比)が各チャンネル(波長)毎に異なってしまう実用的ではない。

【0004】上記光増幅器の利得特性に起因した問題の対策として、例えば、個々の光増幅器毎に利得等化器を内蔵したり、光伝送路上に複数の利得等化器を介設して、光増幅器により生じた信号光の光量の波長間格差を上記利得等化器によって補償し、どの波長の信号光光量も等しくするための手段が講じられている。

【0005】従来では、上記光増幅器の利得特性が定常的であると想定して、上記利得等化器は、光減衰量と波長の関係である光減衰量波長特性が固定である光フィルタ(例えば、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ、マッハツェンダフィルタ等)を用いて構成されていた。

【0006】しかしながら、実際には、上記光増幅器の利得特性は定常的ではなく、光伝送路を構成する光ファイバの経年劣化や光伝送路の拡張等に伴う光ファイバの切り割り加工等に起因した入力信号光の光量変動や、光

増幅器の設置環境の温度変化等の外乱に起因した光増幅媒体の励起状態の変動によって、上記光増幅器の利得特性は変化してしまう。このため、上記光減衰量波長特性が固定である光フィルタを利用した利得等化器では、入力信号光の光量の波長間格差を満足に補償することができない場合がある。

【0007】このことを考慮して、近年では、上記光減衰量波長特性を可変することができる可変利得等化器が提案されている。例えば、導波路型回折格子とマッハツェンダ干渉計を原理とした熱光学特性制御による可変利得等化器や、スプリットビームフーリエフィルタを原理とした機械的な手段による可変利得等化器や、正弦波状のフィルタ特性を有する複屈折フィルタを原理とした可変光学フィルタユニットから成る利得傾斜補正用可変利得等化器や、その可変光学フィルタユニットを複数直列に配列配置して成る可変利得等化器などという如く、様々な可変利得等化器が提案されている。

【0008】それら複数の提案の可変利得等化器のうち、次に示すような理由から、本発明者は上記可変光学フィルタユニットを用いた可変利得等化器に注目している。その理由とは、まず第1に、その可変利得等化器は、電気的制御により光減衰量波長特性を可変制御する構成であるため、光減衰量波長特性の可変制御の信頼性が高い。第2に、上記可変光学フィルタユニットが、現在広く実用化されている様々な光部品と同様に、自由空間内に光学素子を配置して透過光に作用を与えるバルク型の構造によって作製できるために、製造が容易であり、安価である。第3に、上記複数の可変光学フィルタユニットを直列に配列配置して可変利得等化器を構成する場合には、上記各可変光学フィルタユニットを個別に制御することによって、光減衰量波長特性を様々な可変させることが可能であり、光減衰量波長特性の可変設定の自由度が高い。

【0009】図5には上記複数の可変光学フィルタユニットを用いた可変利得等化器のシステム例が模式的に示されている。この図5に示される可変利得等化システム1は、複数の可変光学フィルタユニット2(2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, ..., 2<sub>n</sub>(nは2以上の整数))と、モニタ手段3と、パターン形状制御手段4とを有して構成されている。上記各可変光学フィルタユニット2は正弦波状の光減衰量波長特性を持つものであり、この可変利得等化システム1は、上記各可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の足し合わせにより、例えば図6(a)の曲線Aに示されるような入力信号光(入射信号光)の波長特性を補償するための図6(b)の曲線A'に示されるような補償用の光減衰量波長特性を作り出す構成を備え、図6(c)に示されるような、どの波長の光量もほぼ等しい信号光を射出するものである。なお、この明細書中において、正弦波状とは、正弦波形だけでなく、正弦波形に近い形状の波形をも含むものとす

る。

【0010】上記可変利得等化システム1では、例えば、上記モニタ手段3によって入力信号光の波長特性をモニタし、このモニタ結果に基づいて、パターン形状制御手段4により上記各可変光学フィルタユニット2がそれぞれ個別に制御されて、各可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の振幅と位相のうちの少なくとも一方がそれぞれ制御されることにより、当該可変利得等化システム1の補償用の光減衰量波長特性が可変制御される。具体的には、例えば、入力信号光が図6(a)の曲線Aに示されるような波長特性である場合には、図6(b)の曲線A'に示されるような補償用の光減衰量波長特性が作り出される。また、入力信号光が図6(a)の曲線Bに示されるような波長特性に変化した場合には、上記パターン形状制御手段4により、上記各可変光学フィルタユニット2がそれぞれ個別に制御されて各可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の振幅や位相が可変制御され、それら各可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の足し合わせにより、図6(b)の曲線B'に示されるような補償用の光減衰量波長特性が作り出される。

【0011】上記図5に示される可変利得等化システム1は、上記のように、補償用の光減衰量波長特性を様々に変化させることができるので、入力信号光の波長特性が変化しても、図6(c)に示されるような波長によらず光量がほぼ一定である信号光を出射することができるというものである。

【0012】図7には上記可変利得等化システム1を構成する可変光学フィルタユニット2の構成例が模式的に示されている。この図7に示す可変光学フィルタユニット2は、光の伝搬経路上に、偏光子6と、ファラデー回転子7と、直線位相子8と、ファラデー回転子9と、検光子10とが順に配列配置されている構成を有し、また、上記ファラデー回転子7、9に磁界を印加するための磁界印加手段11、12と、上記直線位相子8の温度を制御するための温度制御手段13とが設けられている。

【0013】上記ファラデー回転子7、9は例えばYIG(イットリウム鉄ガーネット)等の磁気光学結晶により構成されており、ファラデー効果を利用して、上記磁界印加手段11、12による印加磁界に起因した光伝搬方向の磁化の大きさに応じて入射光の偏光面を回転する構成を備えている。上記磁界印加手段11、12は、ファラデー回転子7、9に印加する磁界の大きさを可変制御することにより、上記ファラデー回転子7、9における光伝搬方向の磁化の大きさを可変制御して、上記ファラデー回転子7、9による入射光の偏光面の回転角度(ファラデー回転角度) $\theta$ を可変制御するものである。

【0014】ところで、磁気光学結晶中には磁区と呼ばれる小さい磁化の集まり(多磁区構造)があり、外部か

ら磁界が印加されると、その磁区が徐々に大きな磁区に成長していき、最終的には、磁区が統一され飽和磁化の状態となる。上記多磁区構造の状態であると、多数の磁区境界に因る回折損失によって光伝送損失が生じるので、光伝送損失を抑制するために上記磁気光学結晶を飽和磁化の状態にして使用することが望ましい。

【0015】このことから、上記磁界印加手段11、12として、上記ファラデー回転子(磁気光学結晶)7、9を飽和磁化の状態に維持したままで、そのファラデー回転子7、9の光伝搬方向の磁化の大きさを可変制御することができる磁界印加手段を用いることが好ましい。そのような磁界印加手段には様々な構成があり、ここでは、その何れの構成の磁界印加手段を採用してもよく、その説明は省略する。

【0016】なお、後述する理由により、上記ファラデー回転子7、9の各ファラデー回転角度 $\theta$ が等しくなるように、上記磁界印加手段11、12が制御される。

【0017】上記直線位相子8は例えば水晶やルチル結晶等の複屈折結晶により構成されており、透過光を上記結晶の光学軸方向に偏光している成分と、上記結晶の光学軸方向に直交する方向に偏光している成分とに位相差を付けて分離する素子である。上記温度制御手段13は直線位相子8自体の温度を可変制御するものであり、例えばペルチェ素子により構成されている。

【0018】ところで、上記光学可変フィルタユニット2を透過した後の信号光の光量が、上記ファラデー回転子7、9のファラデー回転角度 $\theta$ を変化させた場合と、上記直線位相子8の温度を可変した場合とで、どのように変化するかをジョーンズ行列による計算を用いて調べた。これにより、上記可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性は、上記ファラデー回転角度 $\theta$ を変化させた場合には図8に示されるように変化し、上記直線位相子8の温度を可変した場合には図9に示されるように変化することが確認されている。

【0019】図8に示す実線Aは、上記ファラデー回転角度 $\theta$ が45°の場合であり、破線Bはファラデー回転角度 $\theta$ が55°の場合であり、破線Cはファラデー回転角度 $\theta$ が60°の場合であり、点線Dはファラデー回転角度 $\theta$ が75°の場合であり、実線Eはファラデー回転角度 $\theta$ が90°の場合である。

【0020】この図8に示す光減衰量波長特性のグラフから分かるように、この可変光学フィルタユニット2は、正弦波状の光減衰量波長特性を持ち、その光減衰量波長特性の正弦波状の波形は、ファラデー回転角度 $\theta$ の可変によって、位相と周期が変化せずに、振幅のみが変化することが分かる。

【0021】図9に示す実線Aは直線位相子8の温度が10℃の場合の可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の波形例であり、点線Bは直線位相子8の温度が20℃の場合であり、破線Cは直線位相子8の温度が

30℃の場合である。この図9に示す光減衰量波長特性のグラフから分かるように、この可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の正弦波状の波形は、直線位相子8の温度可変によって、周期がそのまま、位相が変化していることが確認できる。

【0022】図8、図9に示されるように、可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性が正弦波状の特性を示しているのは、上記直線位相子8による分離光の位相差 $\Delta$ が波長依存性のために波長によって異なるためである。また、上記直線位相子8の温度が変化すると、当該直線位相子8の複屈折率が変化して直線位相子8による分離光の位相差 $\Delta$ が変動するので、前記の如く、可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の位相が変化するのである。これに対して、上記直線位相子8の温度可変によって上記可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の周期が変化しないのは、上記温度変化による分離光の位相差 $\Delta$ の変動量が波長によらず、どの波長でもほぼ一定だからである。

【0023】すなわち、図7に示す可変光学フィルタユニット2においては、上記の如く、ファラデー回転子7、9の各ファラデー回転角度 $\theta$ を可変制御することによって、可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の振幅を制御できる。また、直線位相子8の温度の可変制御により、可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の位相を制御することができる。つまり、上記温度制御手段13は、上記直線位相子8による分離光の位相差 $\Delta$ を制御して可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の位相を可変する位相差可変手段として機能するものである。

【0024】さらに、上記可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の周期は、直線位相子8の光伝搬方向の結晶の厚みに応じて決定されるものであり、予め定めた上記光減衰量波長特性の周期となるための直線位相子8の光伝搬方向の結晶の厚み $d$ を求め、その求めた厚み $d$ を持つ直線位相子が上記可変光学フィルタユニット2に設けられることとなる。なお、上記温度制御手段13の温度可変制御によって上記直線位相子8の光伝搬方向の結晶の厚みは変動するが、その変動は無視できる程非常に小さいため、直線位相子8の温度を可変しても、上記光減衰量波長特性の周期は殆ど変化しない。

【0025】上記偏光子6と検光子10は、それぞれ、入射光の偏光状態によって透過後の光の光量が変化しないように、例えば、複屈折結晶を用いた偏光分離板から成る直線偏光子（直線検光子）により構成されている。

【0026】上記偏光子6と直線位相子8と検光子10は、図8や図9に示されるように可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の正弦波状波形の全てのピーク値が原理上損失ゼロとなるために、次に示すような関係でもって配設されることが好ましい。例えば、偏光子

6と検光子10が直交ニコルの関係にあるときには、直線位相子8を構成する複屈折結晶の光軸方向が偏光子6、検光子10の透過方向に対して45°傾くように上記直線位相子8を設ける。また、偏光子6と検光子10が平行ニコルの関係にあるときには、上記直線位相子8の結晶の光軸方向が偏光子6、検光子10の透過方向と平行となるように上記直線位相子8を設ける。

【0027】また、前述したように、ファラデー回転子7、9の各ファラデー回転角度 $\theta$ が等しくなるように上記磁界印加手段11、12が制御されるのも、上記同様に、可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の正弦波状波形の全てのピーク値を原理上損失ゼロとするためである。このように、光減衰量波長特性の正弦波状波形の全てのピーク値を損失ゼロとする理由は、図5に示すように、複数の可変光学フィルタユニット2を直列に接続して可変利得等化システム1を構築した際に、その可変利得等化システム1の損失量をできるだけ少なくするためである。

【0028】なお、上記のように、上記ファラデー回転子7、9の各ファラデー回転角度 $\theta$ を等しくするのは上記理由だけでなく、制御構成の簡素化を図るためでもある。

【0029】また、上記例では、直線位相子8の温度制御手段13により、可変光学フィルタユニット2の正弦波状の光減衰量波長特性の位相を可変制御していたが、上記温度制御手段13を設けずに、例えば、特開平6-130339号公報に開示されているように、ファラデー回転子9と検光子10の間に、ファラデー回転子を用いた可変位相子を介設し、この可変位相子により上記可変光学フィルタユニット2の光減衰量波長特性の位相を可変制御することもできる。

【0030】ところで、可変光学フィルタユニット2の小型化及び低コスト化を図る観点から、図10に示されるような可変光学フィルタユニット2が提案されている。この図10に示す可変光学フィルタユニット2では、光伝搬方向に順に、偏光子6と、ファラデー回転子7と、直線位相子8と、全反射手段である全反射ミラー18とが配列配置され、また、上記ファラデー回転子7に磁界を印加する磁界印加手段11と、直線位相子8の温度を可変制御する温度制御手段13とが設けられている。なお、ここでは、前記図5に示す可変光学フィルタユニット2と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0031】この図10に示す可変光学フィルタユニット2においては、偏光子6を通った光は上記ファラデー回転子7と直線位相子8を順に介して全反射ミラー18に達し、該全反射ミラー18によって全反射され、この戻り側の光は上記とは逆に直線位相子8とファラデー回転子7を順に介して偏光子6から出力される。この図10に示す可変光学フィルタユニット2では、前記図5に

示す可変光学フィルタユニット2と同様に光に作用して、正弦波状の光減衰量波長特性を作り出すことができる。

【0032】なお、上記偏光子6は、前記図7に示す可変光学フィルタユニット2を構成する検光子10の機能をも兼用するものであり、この図10に示す場合には、上記偏光子6と検光子10が平行ニコルの関係になっていると等価な状態であることから、前述したように、直線位相子8は結晶光学軸方向を偏光子6の透過方向に平行にして配設されることが好ましい。

【0033】ところで、上記図10に示されるような可変光学フィルタユニット2の光入出力部には、図11に示されるようなコリメータ19を設けることが考えられる。上記コリメータ19は、2芯フェルル20と、レンズ22とが一体化されているものであり、上記2芯フェルル20は、光ファイバのコア・クラッド部21a、21bが間隔（例えば250 $\mu$ m）を介して並設されているものであり、それらコア・クラッド部21a、21bの一方側が入力側光ファイバとして機能し、他方側が出力側光ファイバとして機能することとなる。

【0034】このようなコリメータ19が上記図10の可変光学フィルタユニット2の光入出力部に設けられた場合には、上記コア・クラッド部21a、21bのうち、入力側光ファイバとして機能する側から出射された光は上記レンズ22を通して偏光子6に入射し、その後、上記の如く、全反射ミラー18によって全反射された戻り側の光は上記レンズ22を通して上記出力側光ファイバとして機能する他方側のコア・クラッド部に入射して伝搬されることとなる。

【0035】この図11に示されるコリメータ19では、レンズ22の光軸を中心にして上記各コア・クラッド部21a、21bが対称的に配置されている。この場合には、上記コア・クラッド部21a、21bの一方側から入射した光が前記全反射ミラー18によって反射され、この戻り側の光が他方側のコア・クラッド部に入射するためには、上記コア・クラッド部21a、21bの先端と上記レンズ22の主面との間隔f aと、上記レンズ22の主面と前記全反射ミラー18との間隔f bとを等しくしなければならない。

【0036】

【発明が解決しようとする課題】ところで、低コスト化を考慮して、汎用のコリメータを用いることが好ましいが、汎用のコリメータにおいては、上記コア・クラッド部21a、21bの先端と上記レンズ22の主面との間隔f aが約1~4mm程度であり、汎用のコリメータを用いようすると、上記レンズ22の主面と前記全反射ミラー18との間隔f bも約1~4mm程度にしなければならない。しかしながら、そのような狭い隙間に、図10に示されるように偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8を配列配置し、さらに、磁界印加手段11と温

度制御手段13を設けることは、非常に困難である。

【0037】これにより、汎用のコリメータを用いることができず、高価なコリメータを利用することとなり、可変光学フィルタユニット2やそれを用いた可変利得等化システム1の高コスト化を招いてしまう。

【0038】また、例えば上記ファラデー回転子7等の光学素子を配列配置し易いように上記コリメータ19のレンズ22の主面と全反射ミラー18との間隔f bを設定し、その間隔f bと同じ間隔となるように、上記レンズ22と上記コア・クラッド部21a、21bの先端との間隔f aを設定してコリメータ19を作製した場合には、そのコリメータ19は、汎用品に比べて、大型なものとなり、可変光学フィルタユニット2や可変利得等化システム1が大型化してしまう。

【0039】さらに、上記コリメータ19の大型化を回避するために、上記レンズ22と上記コア・クラッド部21a、21bの先端との間に偏光子6等の光学素子を介設することが考えられるが、この場合には、上記全反射ミラー18によって全反射された戻り側の光と上記コア・クラッド部21a又は21bとの光結合損失が最小となるように、上記レンズ22と、偏光子6等の光学素子と、コア・クラッド部21a、21bの先端との位置調整が難しく、生産性に劣ることから、この場合には、コリメータ19の大型化は回避できても、コリメータ19が高価なものとなり、上記同様に、可変光学フィルタユニット2や可変利得等化システム1の高コスト化を招いてしまうこととなる。

【0040】本発明は上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、汎用のコリメータを用いて安価で、小型な可変光学フィルタユニット及び可変利得等化システムを提供することにある。

【0041】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明は次に示す構成をもって前記課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明は、正弦波状の光減衰量波長特性を持つ可変光学フィルタユニットであって、並設されている入力側光ファイバおよび出力側光ファイバと、これら入力側と出力側の光ファイバの先端側と間隔を介して配置される入力側と出力側に共通のレンズとが一体化されているコリメータを有し、このコリメータのレンズよりも光の出射側には、偏光子と；信号光を全反射して光の伝搬方向を折り返す全反射手段と；が順に配列配置されており、これら偏光子と全反射手段の間には、印加磁界に応じて入射光の偏光面を回転させるファラデー回転子と；結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間に波長に依存して位相差を与える複屈折結晶と；この複屈折結晶の結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間の位相差を波長に依存しないで変更する位

相差可変手段と；が設けられており、上記全反射手段により全反射された戻り側の光を上記コリメータの出力側光ファイバに入射伝搬させるための伝搬光路変更手段が設けられている構成をもって前記課題を解決する手段としている。

【0042】第2の発明は、上記第1の発明の構成を備え、全反射手段は、互いに直交している第1の全反射面と第2の全反射面を有したリトロリフレクタにより構成されており、このリトロリフレクタの上記第1の全反射面は入射光の伝搬方向に対しておよそ $45^\circ$ の傾きをもって配設されて入射光を上記第2の全反射面に向けて全反射し、第2の全反射面は上記第1の全反射面からの光を偏光子側に向けて全反射する構成と成し、このリトロリフレクタによって、偏光子側からリトロリフレクタに向かう方向の行き側の光の伝搬経路と、リトロリフレクタから偏光子側に向かう方向の戻り側の光の伝搬経路とを間隔を介して平行にする構成としたことを特徴として構成されている。

【0043】第3の発明は、上記第2の発明の構成を備え、コリメータは入力側光ファイバの光軸とレンズの光軸が同軸上に位置する構成と成し、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を屈折させてコリメータのレンズを介し出力側光ファイバに入射させるプリズムにより構成されていることを特徴として構成されている。

【0044】第4の発明は、上記第3の発明の構成を備え、伝搬光路変更手段であるプリズムには、コリメータの入力側光ファイバからレンズを介して出射された行き側の光を伝搬方向を変えずに透過する平行平板部が設けられていることを特徴として構成されている。

【0045】第5の発明は、上記第2の発明の構成を備え、コリメータは、入力側光ファイバと出力側光ファイバがレンズの光軸を中心にして対称に配置されている構成と成し、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を屈折させてコリメータのレンズを介し出力側光ファイバに入射させるプリズムにより構成されており、このプリズムには、上記入力側光ファイバからレンズを介して出射された行き側の光を屈折して当該行き側の光の伝搬方向を上記コリメータのレンズの光軸に平行な方向に変更させる行き光屈折部が設けられていることを特徴として構成されている。

【0046】第6の発明は、上記第1又は第2の発明の構成を備え、入力側光ファイバと出力側光ファイバを共に備えたコリメータに代えて、入力側光ファイバと、該光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されて成る入力側コリメータと；出力側光ファイバと、該光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されて成る出力側コリメータと；が設けられていることを特徴として構成されている。

【0047】第7の発明は、上記第6の発明の構成を備え、入力側コリメータと出力側コリメータは並設されて

おり、伝搬光路変更手段は第1の全反射手段と第2の全反射手段を有し、上記第1の全反射手段は戻り側の光を上記第2の全反射手段に向けて全反射し、第2の全反射手段は上記第1の全反射手段からの戻り側の光を出力側コリメータの出力側光ファイバに向けて全反射する構成と成していることを特徴として構成されている。

【0048】第8の発明は、上記第6の発明の構成を備え、入力側コリメータと出力側コリメータはそれらの光軸を交差させる形態でもって配設されており、伝搬光路変更手段は、戻り側の光を出力側コリメータに向けて全反射させる全反射手段により構成されていることを特徴として構成されている。

【0049】第9の発明は、正弦波状の光減衰量波長特性を持つ可変光学フィルタユニットであって、光ファイバの先端部と、この光ファイバの先端側に間隔を介して配置されるレンズとが一体化されているコリメータを有し、このコリメータのレンズよりも光の出射側には、偏光子と；信号光を全反射して光の伝搬方向を折り返す全反射手段と；が順に配列配置されており、これら偏光子と全反射手段の間には、印加磁界に応じて入射光の偏光面を回転させるファラデー回転子と；結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間に波長に依存して位相差を与える複屈折結晶と；この複屈折結晶の結晶光学軸方向に偏光して伝搬する成分と、それに直交する方向に偏光して伝搬する成分との間の位相差を波長に依存しないで変更する位相差可変手段と；が設けられており、上記全反射手段により全反射され上記コリメータに向かう戻り側の光の伝搬経路は、上記コリメータから上記全反射手段に向かう行き側の光の伝搬経路に一致する構成と成し、上記コリメータに接続されている光ファイバには光サーキュレータが介設されていることを特徴として構成されている。

【0050】第10の発明は、入力信号光の波長特性変動を補償する可変利得等化システムであって、正弦波状の光減衰量波長特性を持つ複数の可変光学フィルタユニットが光の伝搬方向に配列配置されており、それら複数の可変光学フィルタユニットの正弦波状の光減衰量波長特性の足し合わせにより、入力信号光の波長特性を補償するためのパターン形状を持つ補償用の光減衰量波長特性が作り出される構成を有し、入力信号光の光減衰量波長特性の変動に応じて上記各可変光学フィルタユニットの正弦波状の光減衰量波長特性の位相と振幅のうちの少なくとも一方を可変する構成を備えた可変利得等化システムであって、上記各可変光学フィルタユニットは、第1～第9の発明の何れか1つの発明の可変光学フィルタユニットであることを特徴として構成されている。

【0051】上記構成の発明において、伝搬光路変更手段が設けられているので、コリメータの光ファイバの先端とレンズ主面との間の間隔と、そのレンズ主面と全反

射手段との間の間隔とを等しくしなくとも、上記伝搬光路変更手段によって、戻り側の光を確実にコリメータの出力側光ファイバに入射させることができる。

【0052】このため、大型な特注のコリメータを用いるのではなく、汎用のコリメータを用いて、ファラデー回転子を利用した可変光学フィルタユニットを作製することが容易にできることとなり、安価で、小型な可変光学フィルタユニット及びそれを用いた可変利得等化システムを提供することができる。

【0053】

【発明の実施の形態】以下に、この発明に係る実施形態例を図面に基づいて説明する。

【0054】第1実施形態例の可変利得等化システムは、以下に説明する特有な構成の可変光学フィルタユニットを備えていることを特徴としており、それ以外の構成は前記図5に示した可変利得等化システムと同様であり、この第1実施形態例の説明において、前記図5に示した可変利得等化システムと同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0055】図1には第1実施形態例において特徴的な可変光学フィルタユニットの構成が模式的に示されている。この可変光学フィルタユニット2においては、図1に示されるように、偏光子6と、ファラデー回転子7と、直線位相子8と、全反射手段であるリトロリフレクタ25とが光伝搬経路上に配列配置されている。また、コリメータ19がレンズ22を上記偏光子6に向けて配置され、このコリメータ19のレンズ22と偏光子6との間の光伝搬経路上には伝搬光路変更手段であるプリズム26が介設されている。さらに、上記ファラデー回転子7に磁界を印加する磁界印加手段11が設けられ、直線位相子8の温度を制御して位相差可変手段として機能する温度制御手段13が設けられている。なお、上記偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8と磁界印加手段11と温度制御手段13は前記図7、図10の可変光学フィルタユニット2を構成する構成部品6、7、8、11、13とそれぞれ同様な構成であるので、その説明は省略する。

【0056】上記コリメータ19は、前記の如く、2芯フェルルール20とレンズ22が一体化されて成るものであり、この第1実施形態例では、上記2芯フェルルール20のコア・クラッド部21a、21bのうち、入力側光ファイバとして機能する一方側（図1に示す例ではコア・クラッド部21a）の光軸と、レンズ22の光軸とが一致している。

【0057】上記リトロリフレクタ25は、第1の全反射面27aと、第2の全反射面27bとを有し、これら第1と第2の全反射面27a、27bは直交関係となるように配置されている。図1に示す例では、前記直線位相子8を透過した後の光の伝搬方向に対して上記第1の全反射面27aが45°の傾きを持つように上記リトロ

リフレクタ25が配置されている。このようにリトロリフレクタ25を配置することにより、直線位相子8から当該リトロリフレクタ25に伝搬されてきた光は、上記第1の全反射面27aによって全反射されて第2の全反射面27bに向かい、さらに、その第2の全反射面27bによって全反射されて、偏光子6側に向けて伝搬することとなり、上記偏光子6側から上記リトロリフレクタ25に向かう行き側の光の伝搬経路と、上記リトロリフレクタ25から偏光子6側に向かう戻り側の光の伝搬経路とを間隔Yを介し平行な状態とすることができる。

【0058】前記プリズム26は戻り光屈折部30と平行平板部31を有して構成されている。上記戻り光屈折部30は、戻り側の光の伝搬方向に対して傾きを持つ傾斜面30aを有し、この傾斜面30aによって戻り側の光の伝搬方向を屈折させて、前記出力側光ファイバとして機能するコア・クラッド部21bに入射させる方向に上記戻り側の光の伝搬方向を変更させる。すなわち、このプリズム26は、戻り側の光を出力側光ファイバに入射伝搬させるための伝搬光路変更手段として機能するものである。

【0059】上記プリズム26が上記伝搬光路変更手段としての機能を果たすためには、当該プリズム26の戻り光屈折部30により屈折した後の戻り側の光の伝搬方向と、レンズ22の光軸との成す角度φが数式1を満たし、かつ、レンズ22の主面とプリズム26との間の間隔Xが、戻り光屈折部30が十分薄いと仮定すれば、数式2を満たさなければならない。

【0060】

【数1】

$$\phi = \tan^{-1} \frac{D}{fa} \text{ (rad)}$$

【0061】

【数2】

$$X = \frac{Y}{\tan \phi}$$

【0062】なお、上記数式1のDはコア・クラッド部21aの光軸とコア・クラッド部21bの光軸との間の間隔を示し、上記数式1のfaはコア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔を示し、数式2のYは、偏光子6側から全反射手段であるリトロリフレクタ25に至るまでの行き側の光の伝搬経路と、上記リトロリフレクタ25により全反射され偏光子6側に向かう戻り側の光の伝搬経路との間の間隔（換言すれば、行き側の光と戻り側の光との光路ずれ）を示している。

【0063】上記プリズム26の戻り光屈折部30は、上記数式1と数式2を満たすことができる形態に形成され、かつ、平行平板部31は行き側の光の伝搬方向を変化させずに、透過させる形態に形成されている。

【0064】この第1実施形態例によれば、偏光子6側



から全反射手段であるリトロフレクタ25に至るまでの行き側の光の伝搬経路と、上記リトロフレクタ25により全反射され偏光子6側に向かう戻り側の光の伝搬経路とを平行にする構成を備えた上に、上記プリズム26の戻り光屈折部30によって上記戻り側の光を屈折させてコリメータ19の出力側光ファイバとして機能する2芯フェルール20のコア・クラッド部21bに入射伝搬させる構成を備えたので、上記コア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔f aに関係なく、上記レンズ22の主面とリトロフレクタ25との間の間隔f bを、適宜に設定しても、上記伝搬光路変更手段であるプリズム26によって戻り側の光を確実に上記コア・クラッド部21bに入射させることが可能となる。

【0065】このため、汎用のコリメータ、つまり、コア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔f aが約1〜4mmであるコリメータを採用して、上記したような可変光学フィルタユニット2を構築することが容易となる。これにより、安価で、しかも、小型な可変光学フィルタユニット2及びそれを用いた可変利得等化システム1を提供することができる。

【0066】なお、可変光学フィルタユニット2の小型化を図る観点から上記レンズ22の主面とプリズム26との間の間隔Xを狭くするためには、上記数式2に示されるように、上記行き側の光と戻り側の光との光路ずれYを小さくすることが望ましい。

【0067】以下に、第2実施形態例を説明する。

【0068】図2には第2実施形態例の可変利得等化システムにおいて特徴的な可変光学フィルタユニットの主要な構成部分が抜き出されて模式的に示されている。なお、この第2実施形態例の説明において、前述した可変利得等化システム1や可変光学フィルタユニット2と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。また、可変光学フィルタユニット2には、前述した偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8と磁界印加手段11と温度制御手段13が設けられるが、図2では、それらの図示が省略してある。

【0069】この第2実施形態例において特徴的な可変光学フィルタユニット2では、図2に示すように、レンズ22の光軸を中心にして2芯フェルール20のコア・クラッド部21a、21bが対称的に配置された状態で上記2芯フェルール20とレンズ22とが一体化されてコリメータ19が構成されている。

【0070】このようなコリメータ19を採用する場合には、2芯フェルール20のコア・クラッド部21a、21bのうち、出力側光ファイバとして機能する一方側（図2に示す例では、コア・クラッド部21b）に向けてレンズ22に入射する戻り側の光の伝搬経路と、上記レンズ22の光軸との成す角度 $\phi'$ は、他方側のコア・クラッド部21aからレンズ22を通過して出射された往

き側の光と、上記レンズ22の光軸との成す角度 $\phi'$ と等しい状態でなければならない。

【0071】そこで、この第2実施形態例では、図2に示されるような特有な形状のプリズム26を光伝搬経路上に配設している。このプリズム26は行き光屈折部33と、伝搬光路変更手段として機能する戻り光屈折部34とを有している。上記行き光屈折部33は、上記レンズ22から出力された行き側の光（レンズ22の光軸に対して傾き $\phi'$ を持つ光）を屈折して、この行き側の光の伝搬方向を上記レンズ22の光軸に平行にする構成を備えるものである。上記戻り光屈折部34は、リトロフレクタ25によって全反射された戻り側の光（レンズ22の光軸に平行な光）を屈折して、レンズ22の光軸に対して上記行き側とほぼ同じ角度 $\phi'$ だけ傾けてレンズ22に入射させる構成を備えるものである。

【0072】なお、上記傾き $\phi'$ は数式3により定めることができる。

【0073】

【数3】

$$\phi' = \tan^{-1} \frac{D}{2fa} \quad (\text{rad})$$

【0074】なお、数式3のDは、前記コア・クラッド部21aの光軸とコア・クラッド部21bの光軸との間の間隔を示し、f aはコア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔を示している。

【0075】また、上記行き側の光と戻り側の光との交差点Pと、レンズ22の主面との間の間隔は、上記コア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔f aと同じであり、上記プリズム26のコリメータ側の部位が上記行き側の光と戻り側の光との交差点Pに配置されるように、プリズム26を配設することが理論的には好ましいのであるが、実際には、行き側の光と戻り側の光はビーム径を持っているために、行き光屈折部33と戻り光屈折部34の交わる部分で、これらのビームがけられてしまわないように、上記プリズム26は、図2に示されるように、上記行き側の光と戻り側の光の交差点Pから離れた方がよい。

【0076】この第2実施形態例によれば、前記第1実施形態例と同様に、偏光子6側から全反射手段であるリトロフレクタ25に至るまでの行き側の光の伝搬経路と、上記リトロフレクタ25により全反射され偏光子6側に向かう戻り側の光の伝搬経路とが平行となる構成とした上に、上記戻り側の光を屈折させてコリメータ19の出力側光ファイバとして機能する2芯フェルール20のコア・クラッド部21bに入射伝搬させる構成を備えたので、上記レンズ22の主面とリトロフレクタ25との間の間隔f bは、上記コア・クラッド部21a、21bの先端とレンズ22の主面との間の間隔f aに関係なく、適宜に設定することが可能となる。これにより、汎用のコリメータ19を採用することができて、可

変光学フィルタユニット2や可変利得等化システム1の小型化及び低コスト化を図ることができる。

【0077】以下に、第3実施形態例を説明する。

【0078】第3実施形態例の可変利得等化システムにおいて特徴的な可変光学フィルタユニットでは、前記各実施形態例に示したような2芯フェルル20を用いたコリメータ19を採用するのに代えて、図3(a)、(b)に示されるような単芯のコリメータ35(35a, 35b)を用いている。この第3実施形態例では、上記単芯のコリメータ35を用いたこと、および、このコリメータ35を用いたことによる特有な構成を特徴としており、それ以外の構成は前記各実施形態例と同様であり、この第3実施形態例の説明では、上記各実施形態例の可変利得等化システム1や可変光学フィルタユニット2と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。なお、図3(a)、(b)に示される可変光学フィルタユニット2には、前記各実施形態例に示したと同様に、偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8と磁界印加手段11と温度制御手段13が設けられるが、図3(a)、(b)では、それらの図示が省略されている。

【0079】単芯のコリメータ35は、1本の光ファイバ36と、レンズ37とが互いの光軸を一致させて一体化されて成るものであり、この第3実施形態例では、2本のコリメータ35のうちの一方側(図3(a)、

(b)に示す例では、コリメータ35a)が入力側コリメータとして機能し、他方側(コリメータ35b)が出力側コリメータとして機能する。

【0080】図3(a)に示す例では、上記各コリメータ35a, 35bは、それらの光軸を交差(図3(a)に示す例では直交)させて配置されている。また、平行平板部40と全反射部41を備えたプリズム26が光伝搬経路上に設けられている。上記平行平板部40は光の伝搬方向を変化させずに透過させる部位であり、全反射部41は、臨界角度以上の角度でもって光を入射させて該入射光を全反射させる部位である。つまり、上記全反射部41は、戻り側の光を出力側コリメータに向けて全反射させる全反射手段として機能する。

【0081】この図3(a)に示す例では、入力側コリメータ35aから出力された往き側の光は、プリズム26の平行平板部40を透過してリトロフレクタ25に向かい、そのリトロフレクタ25により光路ずれYが付けられて全反射されて上記プリズム26に向かう。そして、この戻り側の光はその伝搬方向がプリズム26の全反射部41によって上記出力側コリメータ35bに向かう方向に変更される構成と成している。

【0082】図3(b)に示す例では、上記各コリメータ35a, 35bは互いの光軸を平行にして並設され、また、第1の全反射手段(例えば全反射ミラー)43と第2の全反射手段(例えば全反射ミラー)44が設けら

れており、リトロフレクタ25により全反射された戻り側の光は、上記第1の全反射手段43によって、その伝搬方向を、往き側の光の伝搬経路と平行な状態から、第2の全反射手段44に向かう方向に変更され、さらに、第2の全反射手段44により、出力側コリメータ35bの光軸と一致する向きに変更されて、その出力側コリメータ35bに入射伝搬する構成と成している。すなわち、この図3(b)に示す例では、上記第1の全反射手段43と第2の全反射手段44によって、伝搬光路変更手段が構成されている。

【0083】この第3実施形態例においても、前記各実施形態例と同様に、レンズ37とリトロフレクタ25との間の間隔は、コリメータ35の光ファイバ36の先端とレンズ37と間の間隔に規制されずに、適宜に設定することができるので、汎用の単芯のコリメータ35を用いることができるし、また、上記レンズ37とリトロフレクタ25との間の広い間隔に合わせて、上記光ファイバ36の先端とレンズ37との間隔を広げる必要もないので、安価で、小型な可変光学フィルタユニット2や、それを用いた可変利得等化システム1を提供することができる。

【0084】なお、この発明は上記各実施形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、上記各実施形態例では、偏光子6側から、ファラデー回転子7と、直線位相子8とが順に配置されていたが、例えば、これらファラデー回転子7と、直線位相子8との配列順は限定されるものではなく、偏光子6側から、直線位相子8と、ファラデー回転子7とを順に配置してもよい。この場合にも、上記各実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0085】また、上記各実施形態例では、伝搬光路変更手段であるプリズム26や、第1と第2の全反射手段43, 44は、コリメータ19や35と、偏光子6との間に介設されていたが、上記伝搬光路変更手段の配置位置は限定されるものではなく、例えば、偏光子6から全反射手段であるリトロフレクタ25に至るまでの光伝搬経路上の何処に配設してもよい。但し、偏光子6とファラデー回転子7と直線位相子8にはそれぞれ往き側の光と戻り側の光とが両方共に通過するように構成される。

【0086】さらに、上記各実施形態例では、可変利得等化システム1のモニタ手段3は可変利得等化システム1への入力信号光をモニタしていたが、例えば、上記モニタ手段3を可変利得等化システム1の出力側に設け、各可変光学フィルタユニット2をフィードバック制御する構成としてもよい。

【0087】さらに、上記各実施形態例では、位相差可変手段として直線位相子8に温度制御手段が設けられていたが、位相差可変手段として、前述したように、ファラデー回転子を用いた可変位相子を設けてもよい。

【0088】さらに、図4に示されるような構成をも採り得る。この図4に示される例では、全反射手段として前記各実施形態例に示したリトロフレクタ25ではなく、全反射ミラー45が設けられている。これにより、偏光子6側から上記全反射ミラー45に向かう方向の往き側の光の伝搬経路と、上記全反射ミラー45から偏光子6側に向かう方向の戻り側の光の伝搬経路とが一致する構成と成している。

【0089】また、図4に示されるように、前記単芯のコリメータ35が用いられ、また、このコリメータ35に一端側が接続されている光ファイバ36には、光サーキュレータ46が介設されている。この光サーキュレータ46は、図4に示すポート1から入射した光をポート2から出力し、ポート2から入射した光をポート3から出力するという性質を持つ光部品であり、ポート1から入射した光はポート2を介し上記光ファイバ36を伝搬して当該光ファイバ36の先端からレンズ37を通して偏光子6側に射出される。

【0090】また、全反射ミラー45により全反射された戻り側の光は、レンズ37を通して上記光ファイバ36に入射伝搬してポート2から上記光サーキュレータ46に入射し、上記の如くポート3から出力される。

【0091】この図4に示す場合にも、上記各実施形態例と同様に、コリメータ35の光ファイバ36の先端とレンズ37の主面との間の間隔に関係なく、上記レンズ37の主面と全反射ミラー45との間の間隔を適宜に設定することができるので、汎用のコリメータ35を用いることができ、安価で、小型な可変光学フィルタユニット2及びそれを用いた可変利得等化システム1を提供することができる。

【0092】

【発明の効果】本発明によれば、伝搬光路変更手段を設けたので、コリメータの光ファイバ先端とレンズ主面との間の間隔と、上記コリメータのレンズ主面と全反射手段との間の間隔とを等しくしなくとも、上記伝搬光路変更手段によって、全反射手段により全反射された戻り側の光をコリメータの出力側光ファイバに入射伝搬させることができることとなる。これにより、汎用のコリメータを用いることができ、安価で、小型な可変光学フィルタユニット及びそれを用いた可変利得等化システムを提供することが可能となる。

【0093】全反射手段がリトロフレクタにより構成されているものにあつては、偏光子側からリトロフレクタに向かう往き側の光の伝搬経路と、リトロフレクタから偏光子側に向かう戻り側の光の伝搬経路とが平行になり、偏光子やファラデー回転子等の光学素子の配置位置の自由度を高めることができる。

【0094】伝搬光路変更手段としてプリズムが設けられているものや、上記プリズムに平行平板部が設けられているものにあつては、プリズムは安価な素子であるた

めに、可変光学フィルタユニット及びそれを用いた可変利得等化システムの低コスト化を促進させることができる。

【0095】入力側コリメータと出力側コリメータを備えたものにあつては、入力側光ファイバと出力側光ファイバとの間隔を適宜に設定することができるので、可変光学フィルタユニットの設計の自由度を高めることができる。

【0096】コリメータに接続されている光ファイバに光サーキュレータが介設され、かつ、上記コリメータから上記全反射手段に向かう往き側の光の伝搬経路と、上記全反射手段により全反射され上記コリメータに向かう戻り側の光の伝搬経路とが一致する構成と成しているものにあつても、上記同様に、コリメータの光ファイバ先端とレンズ主面との間の間隔と、上記コリメータのレンズ主面と全反射手段との間の間隔とを等しくしなくて済み、これにより、汎用のコリメータを用いることができ、安価で、小型な可変光学フィルタユニット及びそれを用いた可変利得等化システムを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態例において特徴的な可変光学フィルタユニットを模式的に示したモデル図である。

【図2】第2実施形態例において特徴的な可変光学フィルタユニットを模式的に示したモデル図である。

【図3】第3実施形態例において特徴的な可変光学フィルタユニットを模式的に示したモデル図である。

【図4】本発明の変形例を示した説明図である。

【図5】複数の可変光学フィルタユニットを配列配置して成る可変利得等化システムの一例を模式的に示した説明図である。

【図6】図5の可変利得等化システムにおける入力信号光の波長特性のパターン形状例と、上記可変利得等化システムが持つ光減衰量波長特性のパターン形状例と、上記可変利得等化システムの出力信号光の波長特性のパターン形状例とをそれぞれ示すグラフである。

【図7】図5に示す可変利得等化システムを構成する可変光学フィルタユニットの従来例を説明するための図である。

【図8】図7の可変光学フィルタユニットにおいて、ファラデー回転子による光の偏光面の回転角度（ファラデー回転角度）を可変した場合の可変光学フィルタユニットの光減衰量波長特性の正弦波状波形の変化の一例を示すグラフである。

【図9】図7の可変光学フィルタユニットにおいて、直線位相子の温度を可変した場合の可変光学フィルタユニットの光減衰量波長特性の正弦波状波形の変化の一例を示すグラフである。

【図10】全反射手段を用いた可変光学フィルタユニットの一例を模式的に示す説明図である。

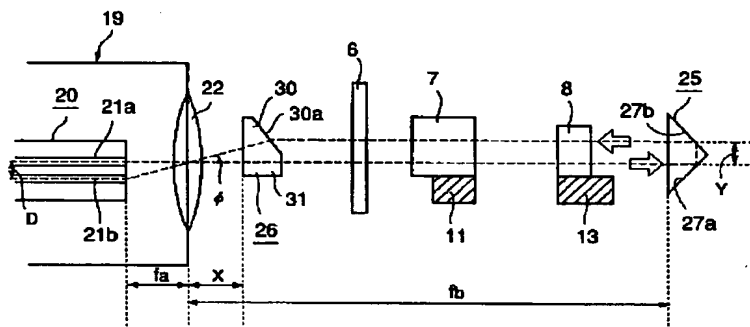
【図11】図10の可変光学フィルタユニットの光入出力部に設けられるコリメータの一例を示すためのモデル図である。

【符号の説明】

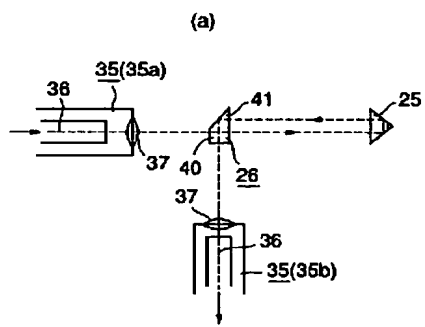
- 1 可変利得等化システム  
2 可変光学フィルタユニット  
6 偏光子  
7, 9 ファラデー回転子  
8 直線位相子  
19, 35 コリメータ

- 25 リトロフレクタ  
26 プリズム  
27a 第1の全反射面  
27b 第2の全反射面  
31, 40 平行平板部  
33 往き光屈折部  
34 戻り光屈折部  
43 第1の全反射手段  
44 第2の全反射手段

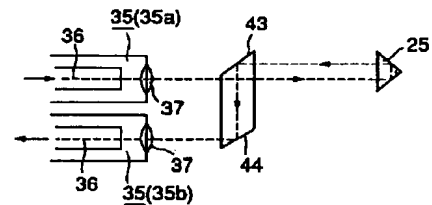
【図1】



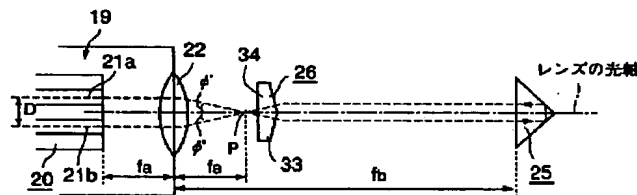
【図3】



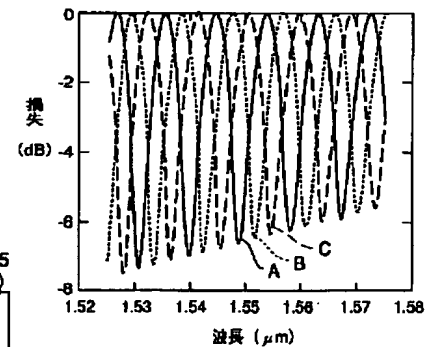
(b)



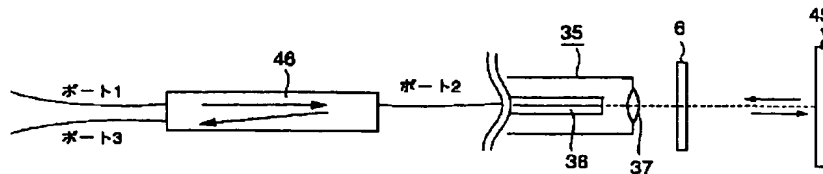
【図2】



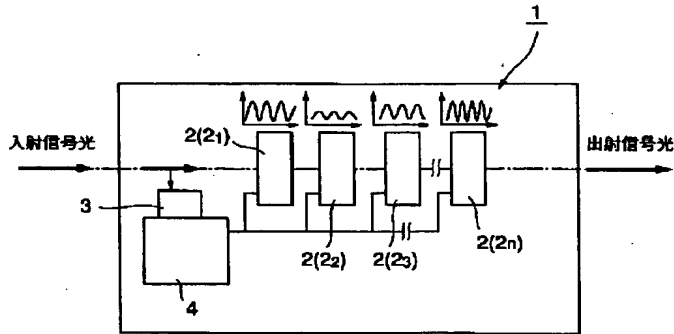
【図9】



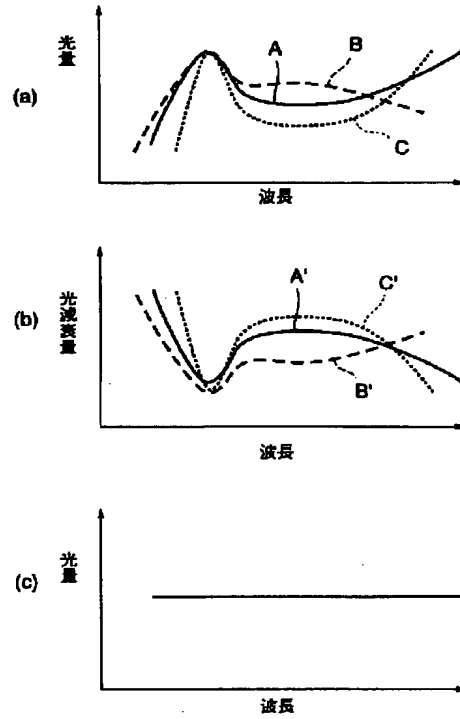
【図4】



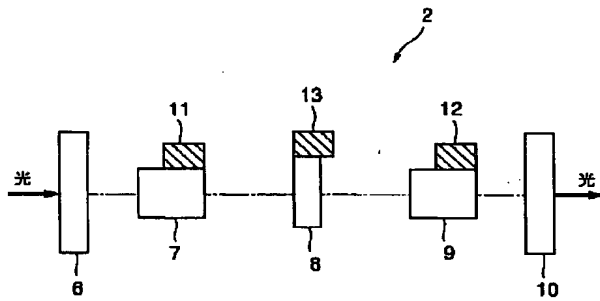
【圖5】



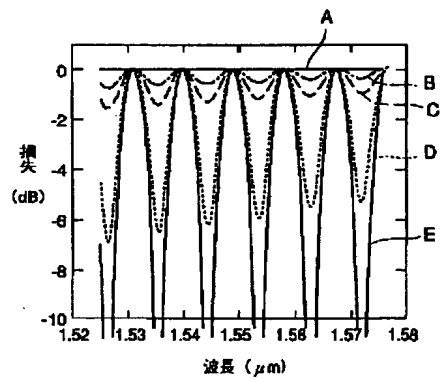
【圖6】



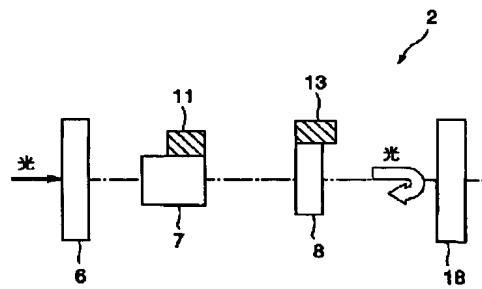
【圖7】



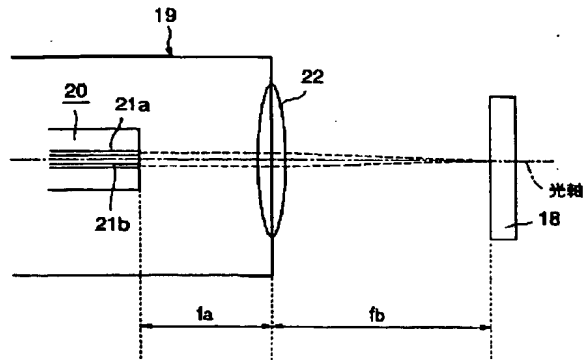
【圖8】



【圖10】



【図11】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H049 BA02 BA06 BA08 BA42 BA46  
BB03 BB61 BC25  
2H079 AA03 AA13 BA02 CA07 CA24  
DA13 EB18 FA01 GA01 HA07  
KA05 KA11 KA14 KA17 KA20  
5F072 MM02 YY17